

УДК 669-179

**С. О. Морозов<sup>\*</sup>, О. В. Пименова, М. С. Хадыев, Н. Н. Озерец, С. Б. Михайлов**

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

<sup>\*</sup>segamoroz@gmail.com,

Научные руководители: д-ра техн. наук М. А. Филиппов, Ю. С. Коробов

## ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СТАЛИ С TRIP/TWIP-ЭФФЕКТОМ ДЛЯ СВАРКИ И НАПЛАВКИ

Изучены фазовые превращения и структура, формирующаяся в процессе кристаллизации и последующего термического и деформационного воздействий при объемном и поверхностном нагружении стали типа 50X18. Установлено, что диссипативная структура содержит повышенное количество деформационно-нестабильного остаточного аустенита,  $\delta$ -феррит и высокопрочный углеродисто-хромистый мартенсит. Сварные соединения обладают высокой способностью к интенсивному упрочнению в процессе локального деформационного воздействия вследствие ТРИП-эффекта.

*Ключевые слова:* структура, сварка, наплавка, ТРИП-эффект, аустенит, мартенсит

**S. O. Morozov, O. V. Pimenova, M. S. Khadyev, N. N. Ozerets, S. B. Mikhailov**

## FORMATION OF THE STRUCTURE OF STEEL WITH TRIP/TWIP-EFFECT FOR WELDING AND SURFACING

The phase transformations and the structure formed in the process of crystallization and subsequent thermal and deformation effects under volume and surface loading of 50X18 steel were studied. It was found that the dissipative structure contains an increased amount of deformation-unstable residual austenite,  $\delta$ -ferrite and high-strength carbon-chromium martensite. Welded joints have a high ability to intensive hardening in the process of local deformation action due to the TRIP effect.

*Key words:* structure, welding, surfacing, TRIP effect, austenite, martensite

Создание высокопрочных сварных конструкций требует разработки новых сварочных материалов, сочетающих повышенный уровень прочностных свойств с достаточной технологичностью, что-

бы при сварке высокопрочных элементов конструкций образовывать равнопрочные сварные соединения, а при наплавке поверхности — для повышения износостойкости ответственных узлов и деталей машин. Перспективной основой для разработки составов таких сталей служат среднеуглеродистые легированные стали, способные под влиянием охлаждения при кристаллизации или воздействии внешней нагрузки изменять фазовый состав с образованием кристаллов мартенсита охлаждения или деформации, с сопутствующей релаксацией термических, деформационных и фазовых напряжений и, как следствие, с повышенной способностью к упрочнению. Рассеяние подводимой к рабочей поверхности энергии при внешнем воздействии эффективно производится микрогетерогенной структурой с метастабильным аустенитом, превращающимся в дисперсный мартенсит в процессе испытания или эксплуатации. Самоорганизация структуры, обусловленная релаксационными процессами при образовании мартенсита, и формирование сжимающих напряжений с высоким уровнем деформационного упрочнения поверхностного слоя обеспечивают высокую стойкость при контактном воздействии на поверхность. Такие стали представляют собой синергетические системы, использующие микро-ТРИП-эффект вследствие регулируемого мартенситного превращения при кристаллизации и охлаждении сварных швов или в процессе их нагружения в наплавленном состоянии [1–3].

В связи с необходимостью разработки наплавочных сталей с метастабильным аустенитом для сварки и наплавки равнопрочных изделий со сварным швом, способных к релаксации напряжений и интенсивному упрочнению, цель работы состояла в изучении фазовых превращений, протекающих в процессе кристаллизации и термического и деформационного воздействия при объемном и поверхностном нагружении среднеуглеродисто-хромистой стали, соответствующей принципу метастабильности аустенита, обладающего ТРИП-эффектом.

По данным рентгеноструктурного анализа, наплавленные образцы сталью 50X18 содержат три фазы: феррит, аустенит и мартенсит с объемно-центрированной тетрагональной решеткой. Аустенит имеет сильную текстуру, в связи с чем точное определение процентного содержания фаз сложно из-за текстурирования аустенита и наложения пиков ферритной и мартенситной фаз.

Микроструктура стали (рис., а) представляет собой конгломерат из зерен трех цветовых оттенков после травления царской водкой: свет-

ло-желтых зерен аустенита с микротвердостью  $HV50 = 3000$  МПа и темнотравящимися группами пластин мартенсита ( $HV50 = 4850$  МПа) внутри зерен аустенита и ярко белых выделений  $\delta$ -феррита по границам зерен аустенита ( $HV50 = 2000$  МПа),

Проведено электронно-микроскопическое исследование структуры тонких фольг стали 50X18 на микроскопе ЭМВ-100 Л, полученных из верхней части наплавленного сварного шва на расстоянии примерно 2 мм от поверхности наплавленного металла (см. рис.). Твердость металла в этих участках составляет в среднем 32 HRC. Видно, что преобладающими фазами являются аустенит с наличием двойников (рис., б–г) и расщепленных дислокаций (рис., г), что указывает на низкую энергию дефектов упаковки, и участки  $\delta$ -феррита округлой формы с дислокационной субструктурой (рис., в). В отдельных участках аустенита присутствуют кристаллы  $\alpha$ -мартенсита (рис., б).

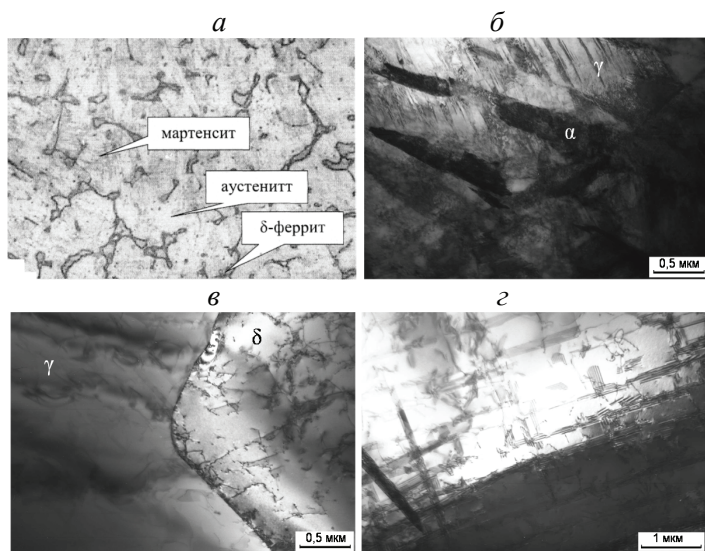


Рис. Микроструктура образца наплавленной стали 50X18 на расстоянии 2 мм от поверхности

Результаты измерения твердости по Роквеллу на дне лунки, оставленной шариковым индентором от пресса Бринелля, показывают, что величина прироста твердости по Роквеллу на дне лунки возрастает по мере увеличения нагрузки при нанесении предварительного отпечатка вследствие возрастания степени деформации и глубины отпе-

чатка. Прирост твердости при локальном нагружении у образцов стали 50X18 объясняется метастабильностью аустенита в этой стали и превращением его в мартенсит деформации во время нагружения (нанесения отпечатка) на прессе Бринелля и под индентором на приборе Роквелла. На прирост количества ферромагнитной фазы (мартенсита деформации) у стали 50X18 указывают магнитометрические измерения стержневым магнитометром на дне отпечатка прессы Бринелля.

### **Литература**

1. Богачев И. Н. Кавитационное разрушение и кавитационностойкие сплавы. М. : Металлургия, 1972. 189 с.
2. Филиппов М. А., Литвинов В. С., Немировский Ю. Р. Стали с метастабильным аустенитом. М. : Металлургия, 1988. 257 с.
3. Чейлях А. П. Экономнолегированные метастабильные сплавы и упрочняющие технологии. Харьков : Харьковский ФТИ, 2003. 212 с.